

Periodo libre de heladas para el Estado de Aguascalientes y su relación con *El Niño*

Domitilo Pereyra Díaz ¹, Sergio Josué Beltrán Cruz ², Mario Tiscareño López ²,
José A. Agustín Pérez Sesma ¹

RESUMEN

Este estudio se realizó para el Estado de Aguascalientes con el objetivo de conocer el Periodo Libre de Heladas (PLH), la probabilidad de ocurrencia y su posible relación con los eventos de *El Niño* con categoría fuerte. Con el uso del análisis estadístico se obtuvo el promedio mensual de días con heladas para los años de *El Niño* fuerte, así como el periodo libre de heladas para estos años. Los resultados indican que el periodo de heladas inicia en octubre y termina en abril. En cuanto a la distribución espacial, las heladas se presentan, primero en la parte centro-sur del Estado y, con el transcurso del tiempo, se presentan en todo el Estado durante los meses de noviembre a febrero. En cuanto al efecto de *El Niño* se encontró que éste genera un aumento en la frecuencia de heladas en el Estado de hasta un 80% en algunos lugares.

ABSTRACT

This study was realized with the purpose of knowing the Free Period of Frosts (FPF) for the state of Aguascalientes, the probability of occurrence and its possible relation with the strong events of

Palabras claves: Periodo libre de heladas, primeras heladas, última helada, *El Niño*, temperatura del aire, Aguascalientes.

Key words: Free period of frosts, first frost, last frost, *El Niño*, air temperature, Aguascalientes.

Recibido: 27 de marzo de 2009, aceptado: 5 de junio de 2009

¹ Licenciatura en Ciencias Atmosféricas de la Universidad Veracruzana, dpereyra@uv.mx.

² AgroClima Informática Avanzada, S.A. de C.V., mario.tiscareño@agroclima.com.mx

the phenomenon *El Niño*. Using the statistic analysis, the monthly average of days with frosts was obtained for the years when the Strong phenomenon *El Niño* occurs, as well as the free period of frosts for these years. The results indicated that the period of occurrence of frosts begins in the month of october, in the region located in the center-south of the state, and ends in the month of april, and in all the state during the period from november to february. Finally, it was found that the occurrence of frosts is increased when the events of the strong phenomenon *El Niño* appears, up to 80% in some places.

INTRODUCCIÓN

La presencia de bajas temperaturas y la irregularidad de las mismas, durante el invierno en regiones templadas, es uno de los mayores problemas que enfrentan los agricultores con relación a sus cosechas, principalmente en donde se producen cultivos susceptibles a bajas temperaturas (Romo y Arteaga, 1989). Referente a las bajas temperaturas Gibbs (2009) describe tres tipos de heladas: a) helada de aire, b) helada de suelo y c) helada de escarcha. La "helada de aire" es cuando la temperatura del aire, observada en el abrigo meteorológico (a 1.5 m sobre el suelo), alcanza el 0 °C; pero, en este caso, el suelo puede permanecer por encima de la temperatura de congelación; esto suele ocurrir a principios de otoño, cuando el suelo aún conserva parte de su calor de verano. Normalmente, la temperatura del suelo va a ser más fría. La "helada de suelo" es cuando la temperatura del suelo alcanza el 0 °C, sólo que en este caso, la temperatura del aire puede estar a 3 o 4 °C por arriba de la temperatura de congelamiento. Por otro lado, los cristales blancos vistos en el césped, en una mañana fría,

no indican que se trata de una helada de aire ni de una helada de suelo, a este fenómeno se le conoce como "helada blanca o escarcha". Esta escarcha se forma cuando el aire se enfría y el agua se condensa sobre el césped, muy diferente al rocío congelado. Éste parece gotas de agua congelada y la escarcha es una estructura de hielo esponjosa y frágil. En cuanto a la severidad de las heladas, éstas se clasifican en cuatro: a) **ligeras**, cuando la temperatura varía entre 0 °C y -3.5 °C, b) **moderadas**; cuando la temperatura varía entre -3.5 °C y -6.5 °C, c) **severas**; cuando la temperatura varía entre -6.5 °C y -11.5 °C, y d) **muy severas**, cuando la temperatura es menor a -11.5 °C (Gibbs, 2009). Los factores que favorecen las heladas son el vapor de agua, el suelo y la vegetación, el viento, la topografía y la nubosidad.

Dependiendo de la época del año en que se presentan las heladas, éstas se clasifican en **primaverales**, **otoñales** e **invernales** (Romo y Arteaga, 1989; Pereyra *et al.*, 1990): **a) Heladas primaverales**: Son aquellas que se presentan en abril y hasta principios de mayo. Son muy peligrosas para los cultivos ya que en los frutales puede matar las partes reproductivas y, en los cultivos anuales, puede inhibir el crecimiento o matar a las plantas. Las heladas tardías son las más peligrosas por la época en que se presentan, que es cuando ya están los cultivos del ciclo primavera-verano y los árboles caducifolios presentan fenologías sensibles a descensos de temperatura. **b) Heladas otoñales**: Son aquellas que se presentan antes del invierno, en septiembre y a principios de octubre. No son buenas para los cultivos de primavera-verano, porque todavía no se ha completado la cosecha ni han entrado en latencia. **c) Heladas invernales**: Son aquellas que se presentan de noviembre a febrero. Son buenas para los árboles frutales porque éstos entran en dormancia, acumulando el frío necesario para la floración y también para los cultivos anuales de invierno como la alfalfa, el trigo, etc.

Por su proceso de formación las heladas pueden ser: por **radiación**, **advección** y **evaporación** (Romo y Arteaga, 1989; Pereyra *et al.*, 1990). **a) Heladas por radiación**: Se presentan por la pérdida excesiva de calor del suelo, durante las noches despejadas con aire de poca humedad. En este caso, el relieve, por sus diversos accidentes, determina la dirección e intensidad del flujo de aire frío nocturno. Si el suelo tiene pendiente, el aire frío (más denso) buscará niveles más bajos, donde se estacionará y continuará enfrián-

dose; es por ello que el fondo de los valles es un lugar propicio para la formación de heladas. **b) Heladas por advección**: Son aquellas que se presentan por el desplazamiento de masas de aire polar, acompañadas de fuertes vientos, que a su paso generan descenso de la temperatura. Son muy peligrosas porque algunos años se presentan durante los meses de abril y mayo, cuando las plantas están en pleno desarrollo. **c) Heladas por evaporación**: Se presentan cuando el agua, retenida en el follaje de las plantas, se evapora con mucha rapidez, hecho que origina que la temperatura de ésta descienda notablemente. La evaporación rápida de la escarcha o del rocío a la salida del sol puede ocasionar este tipo de helada, el daño va directo a los tejidos internos de la planta causándole la muerte. No son muy comunes en esta región. En cuanto al periodo libre de heladas, éste se considera como el tiempo que transcurre desde que se presentó la última helada de un periodo hasta la primera helada del periodo siguiente (Torres, 1995).

¿Qué es El Niño?

Varias han sido las denominaciones usadas para describir el calentamiento que experimentan las aguas del Pacífico tropical en la región Este. El término *El Niño*, el más aceptado, fue originalmente utilizado para caracterizar una corriente marina cálida del sur a lo largo de las costas de Perú y Ecuador, que se establece, aperiódicamente, al aproximarse el periodo navideño; de ahí el nombre asociado a El Niño Jesús (Magaña, 2004). Inicialmente, se creía que *El Niño* era un fenómeno local, cuyos impactos se manifestaban a través de lluvias torrenciales e inundaciones, principalmente, en Perú y Ecuador. Sin embargo, a partir de los años 70's, del siglo XX, se comenzó a descubrir que este fenómeno tiene efectos en el clima global a través de "teleconexiones" cuyos efectos se perciben de manera importante. Las primeras publicaciones, de revistas especializadas a cerca de *El Niño* muestran que este fenómeno ha sido observado y registrado desde 1726 (Quinn *et al.*, 1978; Cane, 1983) y lo definen como un calentamiento de las aguas del Océano Pacífico Tropical y es considerado como una perturbación de la circulación general de la atmósfera. Posteriormente, aparecen otras definiciones, entre éstas, se define como un calentamiento anómalo de las aguas superficiales del Este del Pacífico Ecuatorial que se presenta a intervalos irregulares de dos a siete años y tiene una duración de uno a dos años (De la Lanza y Galindo,

1989, Kahya and Dracup, 1993), aunque recientemente se ha presentado con mayor frecuencia, de tres a cuatro años y dura entre 12 y 18 meses (Pereyra *et al.*, 2004). Una de las definiciones más aceptada de *El Niño*, corresponde al estado climático en que la temperatura de la superficie del mar está 0.5 grados Celsius o más, por encima de la media del periodo 1950-1979, por al menos seis meses consecutivos, en la región conocida como "Niño 3" (4° N-4° S, 150° W-90° W). En cuanto a la intensidad de *El Niño*, éste se clasifica en cuatro categorías: **fuerte, moderado, débil y muy débil**; existiendo una marcada diferencia entre cada una de ellas (Quinn *et al.*, 1978).

¿Cómo se genera *El Niño*?

Se sabe que en condiciones normales el Océano Pacífico Tropical es recorrido por vientos dominantes que vienen del Este, denominados **vientos alisios**. Tales vientos tienden a acumular el agua tropical más caliente en el lado Oeste del Océano Pacífico, región de Indonesia. Por ser la temperatura de superficie del mar elevada en esta región (mayor a 28 °C), el aire es más ligero, creando una atmósfera inestable en la que se presenta gran convergencia de humedad, formación de nubes y lluvias intensas (Webster, 1994; citado por Magaña, 2004). Cuando los vientos alisios se debilitan y las aguas más calientes del Pacífico Tropical se esparcen a lo largo del Ecuador, por efecto de una onda oceánica ecuatorial de tipo Kelvin, a este fenómeno se le conoce como *El Niño*. Aunque no parece un gran aumento en la temperatura del mar (aprox. 2 °C), la cantidad de energía (calor) involucrada sí lo es, al punto de poder alterar los patrones de convección profunda, la formación de nubes cúmulos de gran altura y, con ello, el calor que se transporta a la atmósfera. El desplazamiento de esta fuente de calor atmosférico (nubes cúmulos) produce cambios en el clima a nivel global (Magaña, 2004). El futuro de *El Niño*, aunque en las últimas décadas del siglo XX se presentaron dos eventos muy intensos (1982-1983, 1997-1998), que coincide con la intensificación del calentamiento global, todavía hay que probar que dichos fenómenos estén correlacionados. Si este fuera el caso, *El Niño* podría volverse más intenso y destructivo.

Antecedentes

Hernández (1992) menciona que el daño por helada en los cultivos es una de las principales causas de pérdidas económicas para los agriculto-

res, siendo las heladas tempranas las más importantes si el desarrollo de los cultivos es retardado por condiciones climáticas. En este sentido, Novoa (2003) menciona que entre el 5 y 15% de la producción mundial es dañada por la presencia de heladas y que hay regiones del mundo donde la producción total puede perderse en un 90%, como es el caso de Chile. Por otro lado, Snyder *et al.* (2005) indican que cuando la temperatura del aire alcanza el 0 °C o por debajo de ésta, las cosechas sensibles pueden ser dañadas con efectos significativos sobre la producción. Por ejemplo, en los EEUU, hay más pérdidas económicas por heladas que por cualquier otro fenómeno meteorológico. Pereyra *et al.*, (1992) correlacionaron las heladas de Las Vigas, Veracruz, con los nortes que azotan las costas del Golfo de México, considerando que se había presentado helada cuando la temperatura al abrigo descendió por debajo de los 0° C, habiendo confirmado en todos los casos la presencia de escarcha (helada blanca) o hielo en el suelo (helada negra). En otro estudio para la región del valle de Perote, Pereyra y Tejeda (1993) simularon la marcha diaria de la temperatura cuando ocurrió la helada con el fin de pronosticar su ocurrencia para tomar medidas de prevención que eviten daños a los cultivos como maíz, papa, frijol, haba, entre otros.

El objetivo de este estudio fue conocer la distribución espacial y temporal de las heladas en el Estado de Aguascalientes, así como el periodo libre de heladas. Además, se propuso como hipótesis que puede existir una variación en el número de heladas bajo condiciones de *El Niño* fuerte, debido a que este fenómeno tiene efecto en la temperatura a nivel global.

Zona de estudio

La zona de estudio comprende al Estado de Aguascalientes, el cual se ubica en el centro de México y sus coordenadas geográficas extremas son; al norte 22°27', al sur 21°38' de latitud norte. Al este 101°53', al oeste 102°52' de longitud oeste, su superficie de 5,589 km²; representa el 0.3% del territorio nacional. Tres grandes regiones naturales atraviesan su territorio: la Sierra Madre Occidental, la Mesa Central o Altiplano y el Eje Neovolcánico; en estas regiones se encuentra una elevación de 3050 m, en la Sierra Fría. El territorio de la entidad, es por lo demás, predominantemente plano, pues cerca de la mitad lo constituyen los valles denominados Aguascalien-

tes y Calvillo, este último de gran productividad agrícola; aquí el municipio de El Llano de Ojuelos es de importancia por su producción agrícola de temporal (Gobierno de Aguascalientes, 2005). Las dos cuencas principales que drenan la entidad de Aguascalientes son la del río San Pedro o Aguascalientes y la del río Calvillo. Estos ríos son los afluentes más importantes del Río Santiago de la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, con vertiente occidental hacia el Océano Pacífico.

Climatología

El clima que predomina en la entidad es el semiseco templado, con una temperatura máxima anual promedio que oscila entre 24 y 29 °C; mientras que la temperatura media anual es de 17 °C. La temperatura mínima anual promedio varía entre 6 y 10 °C; las temperaturas más altas, dentro de las mínimas se presentan en el municipio de Calvillo (AgroClima, 2005). El periodo de lluvias corresponde al verano y la precipitación media anual es de 526 mm de acuerdo a los registros de la Comisión Nacional del Agua (CNA). La distribución de la precipitación anual promedio en la entidad presenta un máximo sobre el municipio de Calvillo, entre 600 y 700 mm (AgroClima, 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Para conocer el periodo libre de heladas se hizo lo siguiente; a) se determina la fecha de la primera y última helada (del año siguiente) del periodo en estudio, b) se determina la fecha promedio de la primera y última helada. Para esto se numeran los días del año de 1 a 365 ó 366, si es bisiesto y se calcula el promedio de la primera y última helada sólo con los años donde se hayan presentado éstas. Finalmente, se determina el Periodo Libre de Heladas (PLH), que inicia con la fecha promedio de la última helada y termina con la fecha promedio de la primera. Los años que no registren heladas deberán tomarse como periodos de 365 ó 366 días libres de éstas; si transcurriera uno o varios inviernos así aparecerán periodos libres de heladas con más de 365 días, lo cual no representa ningún inconveniente ya que al final la suma obtenida se divide entre el número total de años de la serie (Pereyra *et al.*, 1990).

2. Para obtener los promedios mensuales de días con heladas, bajo condiciones de *El Niño fuerte*,

se tomó como referencia la clasificación que obtuvieron Tiscareño *et al.* (2003), la cual indica que un evento de *El Niño extremo o fuerte* es aquel donde la temperatura media del mar en la región Niño 3.4, del Océano Pacífico Central, es mayor al promedio mensual en 2 °C durante seis o más meses; bajo este criterio los años más cálidos del periodo son 1982, 1983, 1987, 1992, 1997 y 1998.

3. Para conocer la probabilidad de ocurrencia de helada se puede utilizar la distribución de probabilidad normal o Gausiana $F(x_i; \mu, \sigma)$ (Ec. 1), la cual se aplica a variables continuas que se distribuyen normalmente, su expresión matemática es la siguiente (Snedecor y Cochran, 1979; Montgomery y Runger, 1996):

$$F(x_i; \mu, \sigma) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad (\text{Ec. 1})$$

donde; x es la variable en estudio, μ y σ son la media y la desviación estándar de la población, respectivamente. Hoy día, no se conoce analíticamente la integral de la Ec. 1, por lo que es necesario recurrir a los métodos numéricos para evaluarla (Aparicio, 2005). Sin embargo, para hacer esto se requeriría una tabla para cada valor de μ y σ , por lo que se ha definido la variable estandarizada,

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (\text{Ec. 2})$$

que está normalmente distribuida con media cero y desviación estándar uno. Esta variable es función de los niveles de probabilidad asignado. Así, la función de distribución de probabilidad (Ec. 1) se puede escribir como;

$$F(Z) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(Z)^2}{2}\right] dz \quad (\text{Ec. 3})$$

La función $F(Z)$ se ha calculado numéricamente y se han publicado tablas de ella en muchos libros de estadística (Little y Hills, 1976). Para aplicar la Ec. (3) las variables μ y σ se pueden estimar como la media, \bar{X} , y desviación estándar, S , de la muestra de datos (Aparicio, 2005). Las cuales se estiman con la Ec. (4).

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i ; S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (\text{Ec. 4})$$

donde; X es la observación i -ésima, n es el número total de observaciones.

La figura 1 muestra para cualquier Z positivo la probabilidad de que una medida dada de la distribución normal tenga un valor que se sitúe entre 0 y Z . Al utilizar los valores positivos Z que se encuentran bajo la curva (figura 1), muchas veces se desean probabilidades representadas por otras áreas diferentes a las tabuladas. A continuación se presentan (Ec.5) las relaciones para obtener las probabilidades que más comúnmente se necesitan (Snedecor y Cochran, 1979).

Probabilidad de un valor	Fórmula
1. Que esté entre 0 y Z	A
2. Que está entre $-Z$ y Z	$2A$
3. Fuera del intervalo $(-Z, Z)$	$1 - 2A$
4. Menor que Z (Z positiva)	$0.5 + A$
5. Menor que Z (Z negativa)	$0.5 - A$
6. Mayor que Z (Z positiva)	$0.5 - A$
7. Mayor que Z (Z negativa)	$0.5 + A$

(Ec. 5)

En este caso, A (Ec. 5) representa los valores positivos que se encuentran bajo la curva de Z , que se consideraron de acuerdo a las características de Z (figura 1).

4. Aplicada la función de distribución normal es necesario saber si se ajusta bien a los datos, para esto se utiliza la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la cual se basa en la ecuación 6 (Ostle, 1979):

$$D = \text{Valor máximo } |F_0(X) - S_n(X)| \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde; $F_0(X)$ es la probabilidad de la distribución que se desea probar; $S_n(X) = K/n$, donde K es el número de orden y n el número total de observaciones; K es el número que se le asigna a una

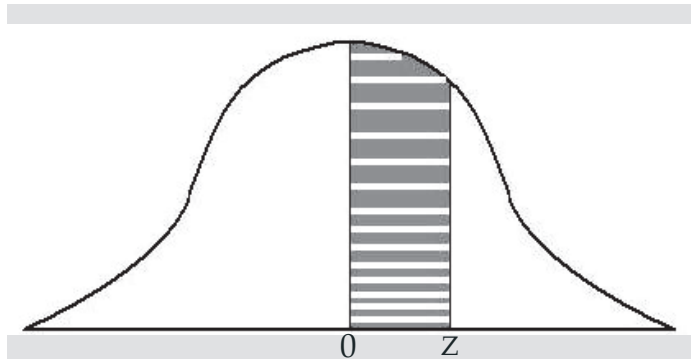


Figura 1. El lado sombreado de la gaussiana representa los valores positivo que se muestran en tablas (Ostle, 1979).

serie cronológica de datos ordenados de mayor a menor, asignándole al más grande el número uno, al siguiente el número dos y así sucesivamente. D es la máxima diferencia o desviación entre $F_0(X)$ y $S_n(X)$. Los valores obtenidos de D se comparan con los valores de D que están en tablas, con un valor de significancia α y el número total de observaciones n (Ostle, 1979). Si $D_{\text{máx}}$ es menor o igual al valor de D dado en tablas, el ajuste es bueno, de lo contrario se rechaza la hipótesis.

Características de la base de datos

La base de datos se encuentra en un programa llamado *Klima ver 2.0*, propiedad de AgroClima Informática Avanzada S. A. de C. V. Este programa es un manejador de datos de clima que contiene registro de 1,100 estaciones meteorológicas, el sistema calcula promedios diarios de temperatura máxima, mínima, precipitación, radiación y humedad relativa. Este sistema fue desarrollado en el lenguaje de programación de alto nivel *Visual Basic.Net* y accede a la base de datos mediante el método de directorio de tablas libres. Los datos de las estaciones provienen de los software *ERICK II* y *CLICOM*, que liberó el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y de algunos datos solicitados en forma directa al mismo. La base de datos original fue analizada con relación a fuentes de error y a la presencia de series truncadas por falta de datos. Para rellenar la serie, se utilizó el modelo climático llamado *WXGEN*, este modelo utiliza el método de funciones de probabilidad, basadas en la media y la varianza diaria, el coeficiente de simetría de la función y la probabilidad día por día de la afluencia de lluvia y temperatura, dependiendo de las condiciones diarias registradas, el modelo considera con mayor prioridad

las condiciones registradas del día anterior (Tiscareño *et al.*, 1998). Con esto, se obtuvieron las series completas a partir del 1º de enero de 1979 al 31 de diciembre de 2001. Una vez analizados los registros de las estaciones, se obtuvieron los promedios anuales de la temperatura máxima, mínima y precipitación para cada estación. El software utilizado para generar los mapas fue *ArcView v. 9.0* de ESRI (Minami *et al.* 2000). Este software utiliza el método de interpolación conocido como "inverso a la distancia" (siglas en inglés *IDW*). El método genera interpolaciones de acuerdo a los datos que presenta cada estación.

RESULTADOS

Las figuras 2 y 3 muestran la climatología del número de días con heladas, para los meses de diciembre y febrero del periodo 1979 al 2001. Las fi-

guras 4 y 5 muestran la distribución de las heladas para los meses de diciembre y febrero, durante los años que se presentó *El Niño* en su categoría fuerte. Las figuras 6 y 7 se generaron con base en los resultados obtenidos de la función de distribu-

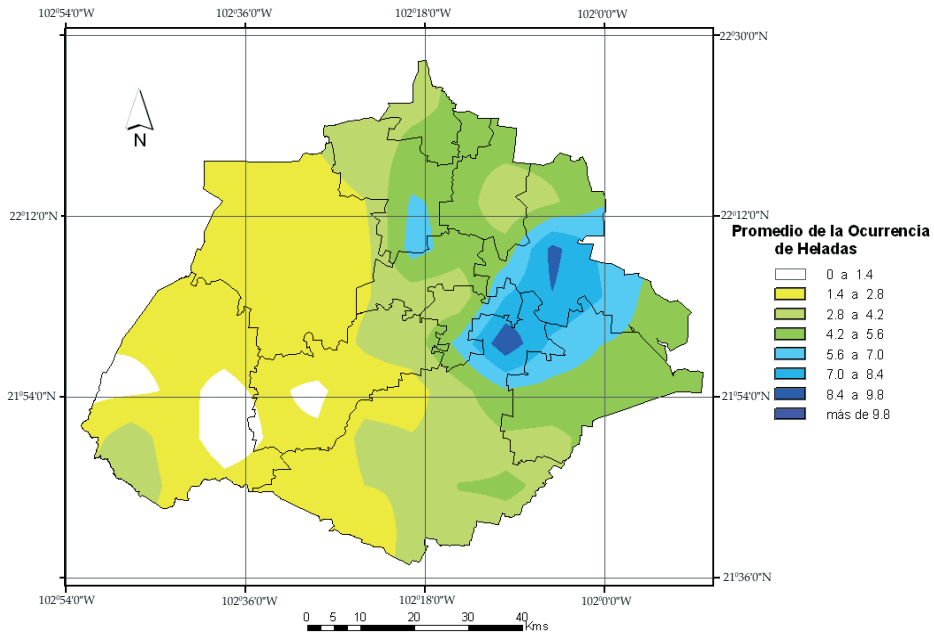


Figura 2. Presencia e incidencia de heladas en el mes de diciembre, periodo 1979-2001.

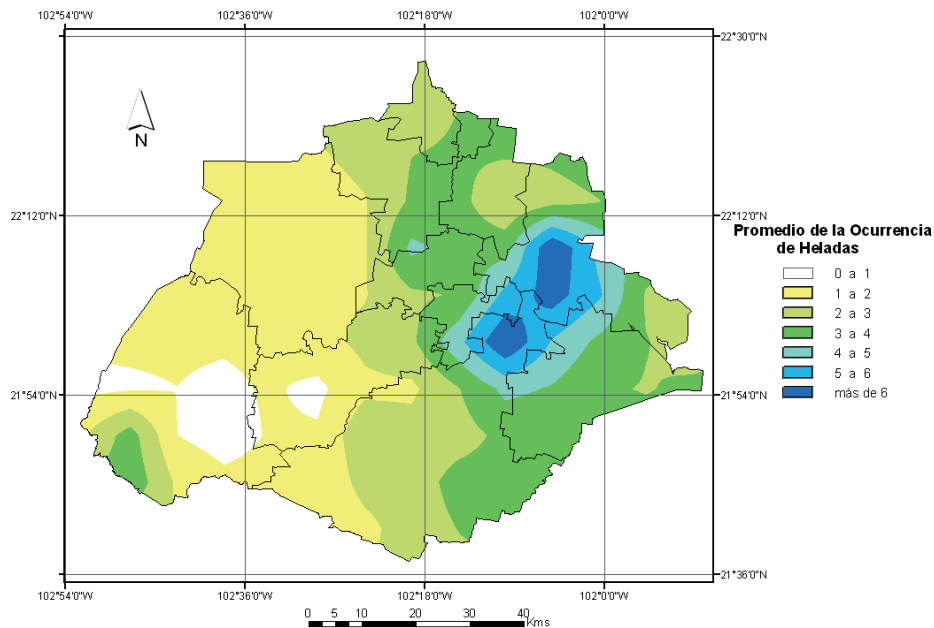


Figura 3. Presencia e incidencia de heladas en el mes de febrero, periodo 1979-2001.

ción de probabilidad normal, donde se muestra la probabilidad de ocurrencia de la primera y última helada para algunas estaciones climatológicas del Estado de Aguascalientes. Los datos de probabilidad utilizados para generar las figuras 6 y 7 de la primera y última helada son representativos,

ya que la función de distribución normal se ajustó. Tomando como base los valores obtenidos de probabilidad de la distribución normal, mostrados en las figuras 6 y 7, se consideró pertinente realizar los mapas de probabilidad de ocurrencia de heladas, para periodos decenales; siendo la primera

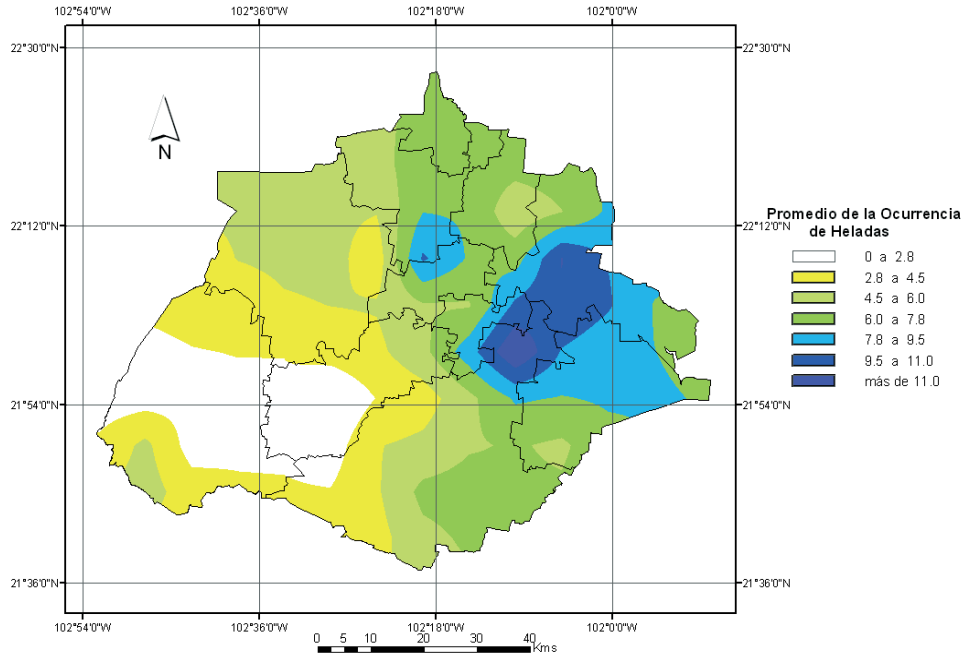


Figura 4. Presencia de heladas en diciembre para el Estado de Aguascalientes, en condiciones de El Niño fuerte, periodo 1979-2001.

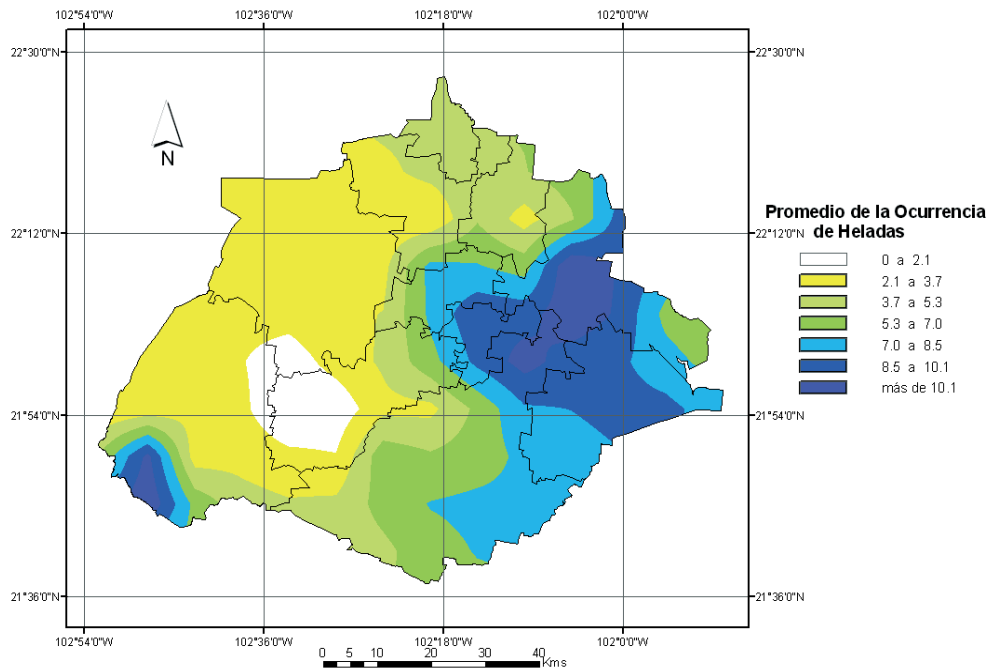


Figura 5. Presencia de heladas en febrero para el Estado de Aguascalientes, en condiciones de El Niño fuerte, periodo 1979-2001.

decena del 1 al 10, la segunda del 11 al 20 y la tercera del 21 al 28, 29, 30 ó 31, según sea el caso. Las figuras 8 a 10 muestran la probabilidad de registrar helada en cada decena de diciembre, con una confiabilidad del 95%. En la primera decena del mes de diciembre, la probabilidad se incrementa hasta un 90% sobre los municipios de Rincón de Romos, San José de Gracia, Pabellón de Arteaga

y Tepezalá. Por otra parte, sobre los municipios de Calvillo, Aguascalientes y Jesús María la probabilidad varía entre un 50 y 60%. Los resultados muestran que a partir de la tercera decena de noviembre y hasta la de febrero, gran parte del Estado de Aguascalientes tiene una alta probabilidad para el desarrollo de heladas, ya que oscila entre 80% y 100%.

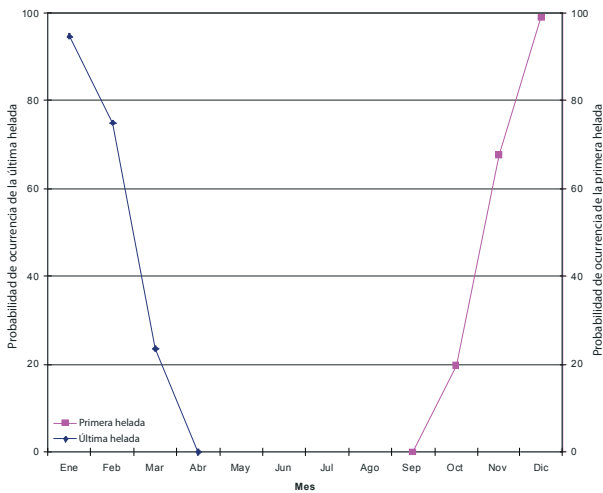


Figura 6. Probabilidad de ocurrencia de la primera y última helada en la estación Pabellón de Arteaga, Ags., periodo 1979-2001.

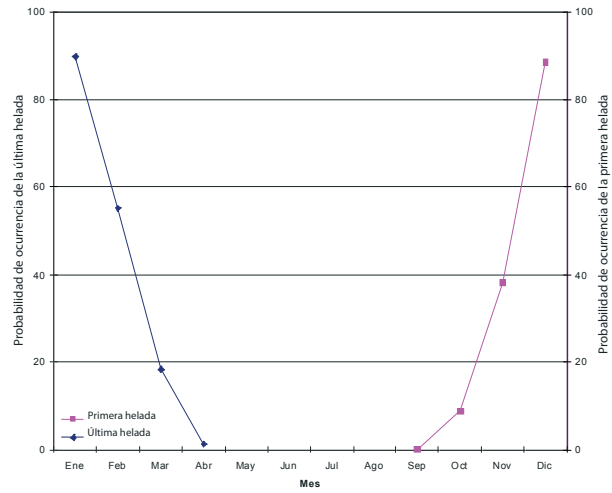


Figura 7. Probabilidad de ocurrencia de la primera y última helada en la estación San Bartolo, Ags., periodo 1979-2001.

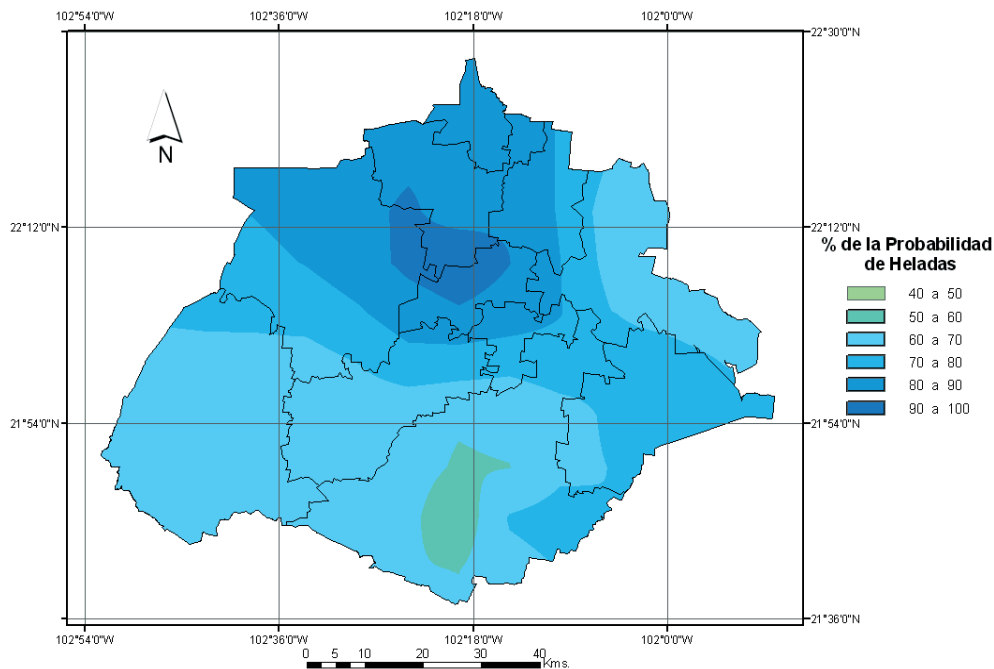


Figura 8. Probabilidad de ocurrencia de heladas en la primera decena de diciembre, periodo 1979-2001.

Figura 9. Probabilidad de ocurrencia de heladas en la segunda decena de diciembre, periodo 1979-2001.

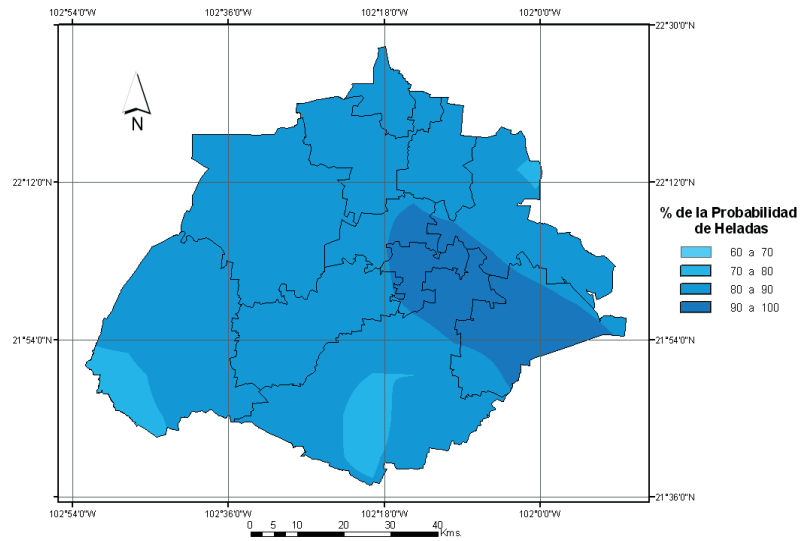


Figura 10. Probabilidad de ocurrencia de heladas en la tercera decena de diciembre, periodo 1979-2001.

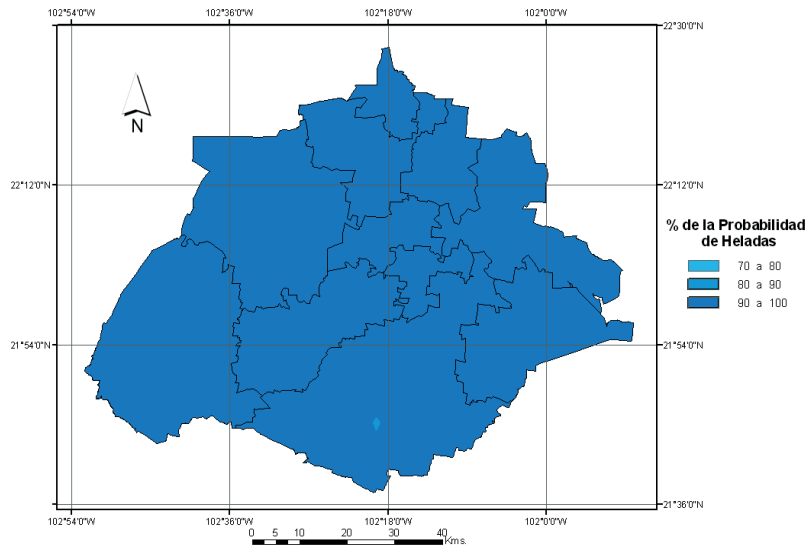
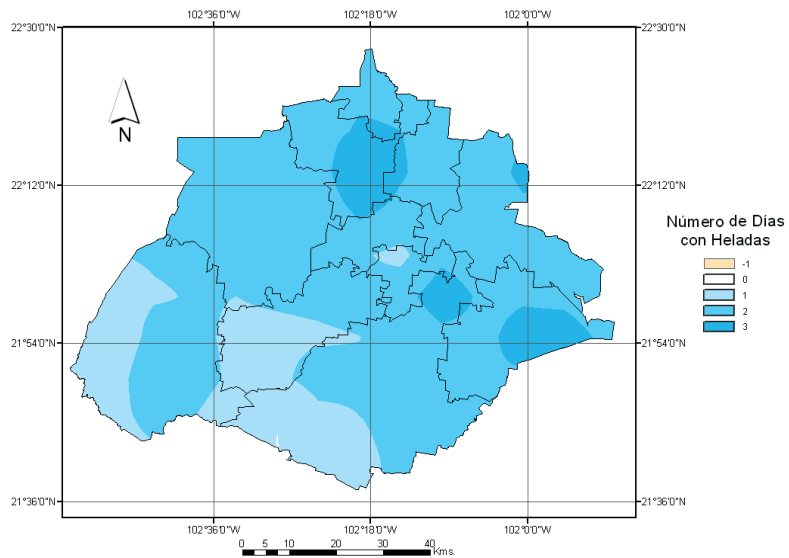


Figura 11. Anomalía en el número de días con heladas en condiciones normales para el mes de diciembre.



Las figuras 11 y 12, representan la diferencia del promedio de días con heladas; se comparan los años de la climatología y de *El Niño fuerte*, con la finalidad de encontrar anomalías. Las figuras 11 y 12 (diciembre) indican que la climatología del número de días con heladas puede oscilar entre -1 y +3 días con respecto a su promedio mensual, los municipios más vulnerables a presentar dicho fenómeno son Rincón de Romos y El Llano. Mien-

tras, bajo condición de *El Niño fuerte*, el número de días tienden a incrementarse a más de siete días con respecto a su promedio. Aunque en la climatología no se representan cambios con respecto a su promedio, en general, las figuras elaboradas muestran que *El Niño fuerte* tiene gran influencia en el registro del número de días con heladas. La figura 13 muestra la climatología del Período Libre de Heladas (PLH) del periodo 1979-

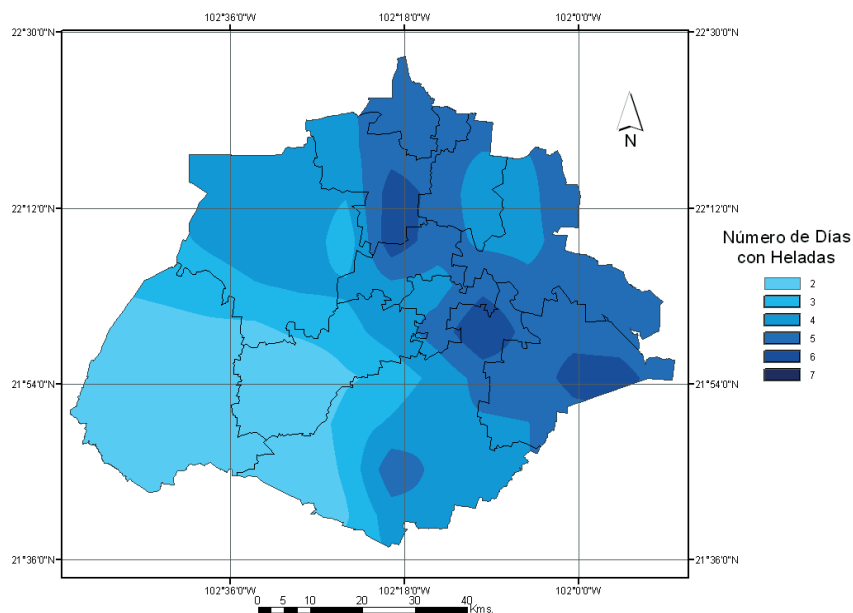


Figura 12. Anomalía en el número de días con heladas bajo condiciones de *El Niño fuerte* para el mes de diciembre.

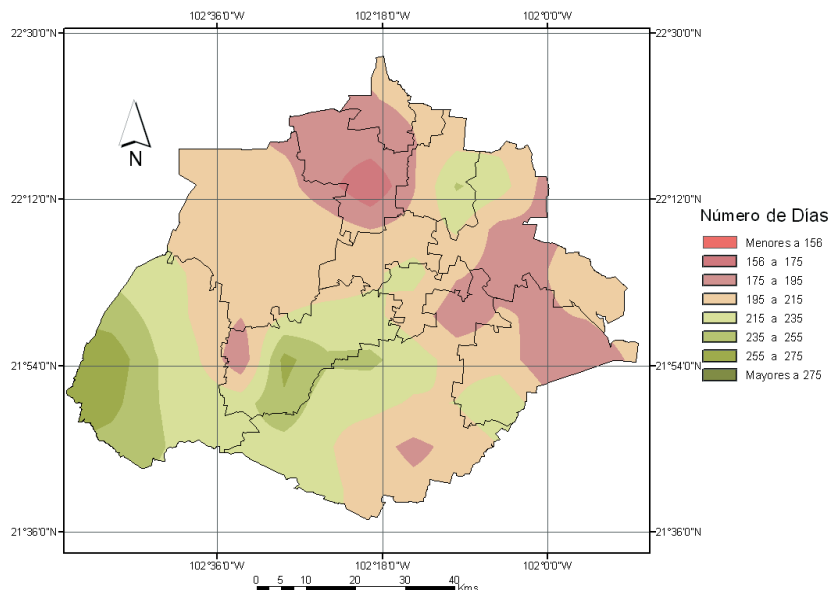


Figura 13. Número de días libres de heladas, condición climática, serie 1979 a 2001.

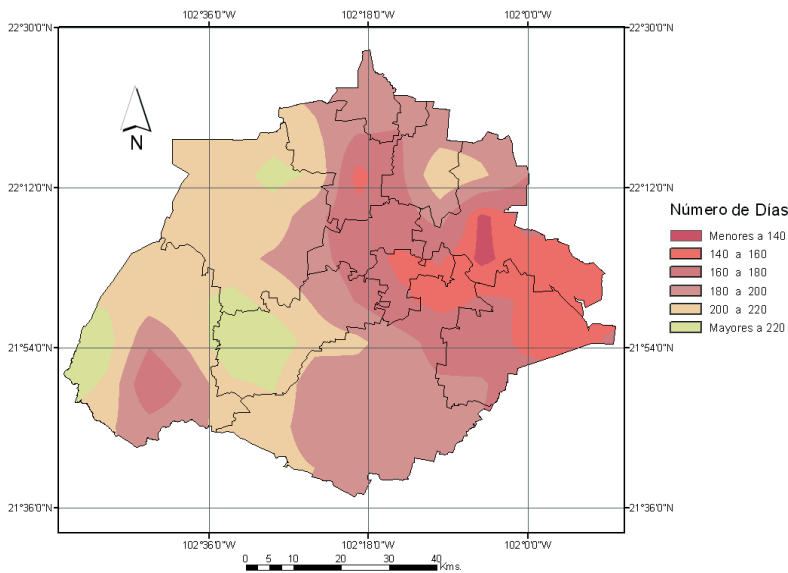


Figura 14. Número de días libres de heladas, condición *El Niño fuerte*, serie 1982, 1983, 1987, 1992, 1997 y 1998.

2001 y la figura 14 muestra el periodo libre de heladas bajo condiciones de *El Niño fuerte*; se observa una disminución del número de días libres de heladas al año.

DISCUSIÓN

Las figuras 13 y 14 permitieron conocer las alteraciones que genera la influencia de *El Niño fuerte* en cuanto al número de días con heladas, ya que se presentan anomalías positivas en casi toda la temporada. Esto se puede relacionar con las investigaciones de Magaña (1999), que afirma que durante años de *El Niño*, la corriente en chorro de latitudes medias y subtropical, se desplaza al Sur alrededor de 500 km. Dado que los sistemas de latitudes medias utilizan esta corriente en chorro para adquirir energía y desplazarse, el paso de los frentes fríos aumenta, hecho que genera la entrada de las masas polares hacia el Norte y Centro de la República Mexicana. Por ello, se puede deducir que el incremento del número de días con heladas bajo condición de *El Niño*, se debe al incremento de la frecuencia de las masas polares sobre el Centro de la República Mexicana.

CONCLUSIONES

En este estudio se presentan las siguientes conclusiones: **a)** El promedio de heladas obtenido de la climatología indica que el inicio de la temporada es en octubre (99% de las estaciones registran heladas) y concluye en abril (60% de las esta-

ciones presentan registros). **b)** Las primeras heladas aparecen en la parte Centro-Sur del Estado; conforme pasa el tiempo las heladas se generalizan en todo el Estado. **c)** El promedio de días con heladas en condiciones de *El Niño fuerte* indica que el periodo inicial de éstas es también en octubre (más del 70% de las estaciones registran heladas en este mes) y el periodo finaliza en el mes de abril. Además, se encontró que la ocurrencia de heladas bajo condiciones de *El Niño fuerte* se incrementa hasta en un 80%. **d)** Por otro lado, del análisis decenal, se concluye que entre la tercera decena de octubre y la primera decena de noviembre existe una probabilidad del 20% en registrar una helada en la región Centro, Norte y Este del Estado.

En cuanto al final del periodo, éste concluye en la tercera decena del mes de marzo, ya que en algunas regiones se pueden presentar aún heladas, con una probabilidad del 20% y desde el mes de noviembre al mes de febrero, casi todo el Estado está propenso a registrar heladas. **e)** En cuanto al periodo libre de heladas, la climatología indica que los municipios de Calvillo, Aguascalientes y Jesús María son los que presentan más días sin eventos de heladas al año, teniendo una oscilación de 255 a 275 días; sin embargo, los municipios de Rincón de Romos, Cosío, Tepezalá, Asientos y El Llano registran una oscilación menor de 156 a 175 días. **f)** Bajo la condición de *El Niño fuerte*, el periodo libre de heladas se altera, generando una reducción en los días libres de heladas al año y registran una oscilación de 140 a 180 días en casi todo el Estado.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se recomienda realizar la siembra durante el periodo de marzo a septiembre, ya que la frecuencia de helada es muy baja o nula. Debido al calentamiento global, se están teniendo inviernos más tibios que podrían reducir el número de heladas, pero éstas podrían ser más intensas; como ocurre con la precipitación, que llueve menos en algunos lugares pero cuando ocurre, las tormentas son más intensas. Por último, es recomendable llevar a cabo un estudio similar bajo condiciones de *La Niña*.

REFERENCIAS

- APARICIO F.J., *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: Limusa, 303 pp., 2005.
 - AGROCLIMA, *Base de datos climatológicos en el Software Klima V. 2.0*. México: AgroClima Informática Avanzada S. A. de C. V., 2005.
 - CANE M.A., *Oceanographic events during El Niño*, *Science*, Vol. 222, 1189-1195, 1983.
 - DE LA LANZA G. e I. GALINDO, *ENSO 1986-1987 at mexican subtropical Pacific offshore Waters*, *Atmósfera*. Vol. 2, 17-30, 1989.
 - FUENTES L., *Iniciación a la Meteorología Agrícola*. España: Ediciones Mundi-Prensa, 195 pp., 1989.
 - HERNÁNDEZ A., *Estimación de Horas Frío y Periodo Libre de Heladas para el Estado de Veracruz*. México: Colec. Textos Universitarios, Univ. Ver., 1-23, 1992.
 - KAHYA E. AND J. A. DRACUP, *U.S. Streamflow Patterns in Relation to the El Niño/Southern Oscillation*. *Water Resour. Res.*, Vol. 29(8), 2491-2503, 1993.
 - LITTLE T. M. y F. J. HILLS, *Métodos estadísticos para la investigación en agricultura*. México: Trillas, 270 pp., 1976.
 - MAGAÑA V., *Los impactos del Niño en México*. México: UNAM, 229 pp., 2004.
 - MATÍAS G., A. et al., *Heladas*. México: Centro Nacional de Previsión de Desastres (CENAPRED), 39 pp., 2001.
 - MINAMI M. et al., *Using ArcMap, GIS by ESRI*. Arc GIS. *Environment Research Institute, Inc.*, 528 pp., 2000.
 - MONTGOMERY D. C. y G. C. RUNGEER, *Probabilidad y Estadística Aplicada a la Ingeniería*. México: McGraw-Hill/ Interamericana Editores, 173-189, 1996.
 - NOVOA R., *Daños generados por heladas*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), *Gobierno de Chile*. 60 pp., 2003.
 - OSTLE B., *Estadística Aplicada*. México: Limusa, 629 pp., 1979.
 - PEREYRA-DÍAZ D., et al., *Heladas en el Cofre de Perote: técnicas de protección*. Colec. Textos Universitarios, Univ. Ver., México. 45 pp., 1990.
 - PEREYRA DÍAZ D., et al., *Correlation between northers of Gulf of Mexico and frosts at Las Vigas, Veracruz, México*. *Atmósfera*. Vol 5(2), 109-118, 1992.
 - PEREYRA DÍAZ D. y A. TEJEDA-MARTÍNEZ, *On simulation of the air temperature curve near the ground in precense of frost in the Valley of Perote (Mexico)*, *International Journal of Biometeorology, Germany*. Vol. 37(2), 101-103, 1993.
 - PEREYRA-DÍAZ D., et al., *Influencia de La Niña y El Niño sobre la precipitación de la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, México*, *Universidad y Ciencia, México*. Vol. 20(39), 33-38, 2004.
 - QUINN, W.H. et al., *Historical trends and statistical of the Southern Oscillation, El Niño, and Indonesian drought*. *Fishery Bulletin*. Vol. 76 (3), 663-668, 1978.
 - ROMO G. y R. ARTEAGA, *Meteorología Agrícola*. Segunda ed., México: Universidad Autónoma de Chapingo, 301 pp., 1989.
 - SNEDECOR C. y G. COCHARN, *Métodos Estadísticos*. México: CECSA, 703 pp., 1979.
 - SNYDER L., et al., *Frost Protection: fundamentals, practice and economics*, *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. Italia. Vol. 1, 240 pp., 2005.
 - TISCAREÑO M., et al., *Algunos efectos del fenómeno climático EL NIÑO en la agricultura Mexicana*. *Ciencia y Desarrollo, CONACYT*, 5-13, 1998.
 - TISCAREÑO, M., et al., *Modeling El Niño Southern Oscillation Climate impact on Mexican agriculture*. *Geofísica Internacional*. Vol. 42 (3), 331-339, 2003.
 - TORRES E., *Agrometeorología*. México: Editorial Trillas, 154 pp., 1995.
- DICTIOTOPOGRAFÍA:**
- *BBC Broatcast Meteorologist Peter Gibbs*
<http://www.bbc.co.uk/waeather/features/undertanddinn/frost.shtm>, mayo 28 de 2009.
 - *Gobierno del Estado de Aguascalientes, Ubicación y Zona Geográfica*. De:
<http://www.aguascalientes.gob.mx/estado/ubica.aspx>, abril de 2005.
 - *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Agricultura, Estado de Aguascalientes*. De:
<http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/aguascalientes/agricultura/index.html>, marzo de 2006.